

Construcción de explanaciones en Cuba. Logros y deficiencias.
Earthworks construction in Cuba. Achievements and shortcomings.



Rolando Lima Rodríguez

Profesor Doctor

Centro de Investigación de las Estructuras y los Materiales, Universidad Central de las Villas, Cuba

E-mail: yoandil@uclv.edu.cu

MsC Ing. Yipsy Morales Torres

Ingeniera Civil

Especialista en Proyectos. EMPI Villa Clara, Cuba

E-mail: empi.ubp.vc@enet.cu

Ing. Guedel Arcial Ruiz

Ingeniero Civil

Especialista en Proyectos. EMPI Villa Clara, Cuba

E-mail: empi.ubp.vc@enet.cu

Ing. Amizaday Benavides Meneses

Ingeniera Civil

MINFAR, Cuba

Ing. Junior Rodríguez Álvarez

Ingeniero Civil

Especialista en estudios ingeniero geológicos Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Villa Clara. Cuba

E-mail: junior@enia.vc.co.cu

Recibido: 18-05-15

Aceptado: 15-07-15

Resumen:

En Cuba ha existido una tendencia a realizar las explanaciones sin el rigor necesario que posibilite tenerlas en cuenta como un estrato con adecuadas características resistentes en el diseño de las cimentaciones. En ocasiones estas explanaciones se han construido adecuadamente, pero no se ha retirado la capa vegetal y la arcilla de transición. En otras no se ha controlado la compactación y no es posible asignarles parámetros físico-mecánicos para el diseño, es entonces cuando vemos terrazas de grandes espesores que son excavadas nuevamente casi en su totalidad, pues los cimientos se han diseñado con profundidades que rebasan estos espesores. Puede observarse que estos procesos son muy costosos y su ejecución requiere gran cantidad de tiempo. Por otra parte, las características físico mecánicas asignadas a los rellenos están lejos de ser las que mejor representen esos materiales.

En la EMPI de Villa Clara se han proyectado cimentaciones para edificios Gran Panel donde se han tenido en cuenta las características físicas mecánicas de las terrazas, pues las mismas se han diseñado y construido en función de que tengan esas características.

Para lograr estos resultados, la ENIA proporciona los datos de los préstamos y las características físico mecánicas para un grado de compactación, se realiza el diseño de la terraza, el diseño de las cimentaciones y la ejecución del movimiento de tierra llevado a cabo por las empresas constructoras es controlado y certificado por la ENIA..

En el trabajo se exponen varios ejemplos de los múltiples efectuados en varias provincias del país, la forma de cálculo y de ejecución de las terrazas y las cimentaciones. Asimismo, se presenta un estudio actualizado sobre el retroceso que están experimentando estos procedimientos.

Palabras clave: Explanaciones, Cimentaciones, Diseño de terrazas, Movimiento de tierra

Abstract:

In Cuba there has been a tendency to carry out the landfills without the appropriate rigor that makes possible to bear them in mind as a stratum with suitable resistant characteristics in the design of foundations. Sometimes, these landfills have been constructed appropriately, but the topsoil and the transition clay have not been removed. In other cases, the compaction has not been controlled and therefore it is not possible to assign them physic mechanical parameters for the design. In those cases, we can see fills of big thicknesses that are almost completely excavated again, since the foundations have been designed with depths that exceed these thicknesses. These processes are very expensive and take a considerable amount of time. On the other hand, the physic mechanical characteristics assigned to the fills are far from being those who better represent these materials.

In the EMPI of Villa Clara, foundations for Gran Panel buildings have been projected taking into account the physic mechanical characteristics of the fills, since they have been designed and constructed according to these characteristics.

In order to achieve these results, the ENIA provides the side cutting data, and the mechanical characteristics for a compaction grade. Then, both the fills and the foundations design is carried out. The ENIA also monitors and certifies the execution of the movement of ground carried out by the construction companies.

In this paper there are presented several examples of the multiple ones carried out in many provinces of the country, and also there are examples of the design and execution of fills and foundations. Likewise, it is presented an updated study that deals with some backward steps on these procedures.

Keywords: Earthworks, Foundations, Design terraces, Earthmoving

Introducción:

Las obras de ingeniería que emplean el suelo como material de construcción demandan corregir sus propiedades naturales, con el objetivo de optimar sus características mecánicas (resistencia, permeabilidad y deformabilidad) para lograr infraestructuras consistentes y seguras.

Para alcanzar la calidad de estos suelos una de las técnicas más importantes usadas es la compactación, la cual es el incremento artificial por medios mecánicos del peso específico seco del suelo no saturado, mediante la reducción del índice de poros (Torres, 1986; Juárez y Rico, 1992, 2005; Braja, 2002; Duque y Escobar, 2002; Sánchez, 2008; Oliva, 2010).

La compactación del suelo está ligada al control de calidad de los trabajos en obra, debido a que luego de realizado este proceso mecánico es necesario verificar si el suelo cuenta con las propiedades requeridas por el

proyecto. Esta evaluación se hace de forma práctica mediante pruebas especializadas que suelen emplear un tiempo de ejecución demasiado largo y que tienen como esencia comprobar que los parámetros de compactación se encuentren dentro de los límites permisibles.

Las inversiones realizadas en obras que requieran el uso de rellenos deben contar con un respaldo en cuanto a su calidad y eficiencia, debido a que el desarrollo del país requiere de una planificación ordenada y precisa de su economía.

Situaciones prácticas han demostrado que la construcción de explanaciones (también conocidas como terrazas) no se ejecuta de la manera idónea y debido al ineficiente control se ha perdido la calidad de los anteriores trabajos. Existen diversos factores que pueden estar incidiendo en estos resultados desfavorables, dentro de los que pueden citarse: la no eliminación de la capa vegetal del terreno natural, la falta del terraplén de prueba para definir espesor de capa y número de pases, la escasa continuidad que exista entre las diversas capas, la realización de la compactación con una humedad inapropiada o el control ineficiente de los trabajos. Como resultado de todo esto se proyectan cimentaciones que son totalmente antieconómicas y que requieren de mucho tiempo para su ejecución.

Trabajo realizado en la EMPI Villa Clara.

Esta empresa se caracteriza por proyectar un gran número de edificios constituidos por grandes paneles que son ejecutados en la región central de país. Este sistema nombrado Gran Panel se tipificó y como propuesta de cimentación tenía cimientos aislados unidos por vigas prefabricadas. Lo que generalmente ocurría era que el relleno de la terraza tenía características inadecuadas y era necesario sobrepasar el mismo hasta alcanzar un estrato con características apropiadas para ejecutar las cimentaciones, en muchas ocasiones los espesores eran grandes y por lo tanto los gastos de estas cimentaciones eran elevados, Figura 1

A partir de esta problemática los autores trabajaron en buscar una solución. Toda la literatura plantea que las cimentaciones más apropiadas para este tipo de estructuras son corridas, pero para ejecutarlas se imponía mejorar los rellenos.



*Figura 1. Relleno de espesor variable con características inapropiadas. Urbanización provincia de Cienfuegos.
Fuente: Autores*

Para lograr esta tarea se comenzó un trabajo conjunto entre proyectista, inversionista, constructor y controlador de la calidad externo que en este caso fue la ENIA. La ejecución de las terrazas se realizó atendiendo a las exigencias técnicas conocidas por los constructores cubanos, se partió de un terraplén de prueba donde se ajustaron los parámetros de cantidad de agua que era necesario adicionar, espesor de capas y número de pases del equipo. El especialista de la ENIA radicaba en la obra, definía hasta donde eliminar inadecuado, valoraba la calidad del

relleno rechazando los camiones con tamaño de partículas fuera de los valores permisibles y control de la humedad y peso específico al finalizar cada capa.

Posteriormente se comenzó el trabajo de construcción de los cimientos, pero al excavar el relleno, aunque la profundidad de cimentación era pequeña se presentaron varios problemas, el principal fue la dificultad al excavar, pues el suelo quedaba muy compacto. Figura 2.



Figura 2: Cimentaciones corridas ejecutadas en rellenos compactados. Urbanización en Caibarién, provincia de Villa Clara Fuente: autores.

En este momento se realizó un nuevo intercambio entre proyectista, inversionista, constructor y controlador de la calidad y se precisó que aun los rellenos tenían material grueso por encima de lo permisible y que era necesario buscar una solución más eficiente. A partir de aquí los proyectistas valoraron ejecutar la terraza hasta la cota de cimentación, ejecutar la misma y después terminar de ejecutar la terraza y el relleno interior de las cimentaciones. En el diseño se modificaría la expresión de capacidad de carga, pues no existiría aporte de la zona CD figura 3 y no se consideraría el cemento empotrado en el estrato resistente, todo esto porque la calidad de la compactación de esta zona generalmente no es buena. Todo eso conduce a modificar la expresión de capacidad de carga propuesta en la norma cubana de la siguiente forma

$$q_{br} = \frac{\gamma_2 B'}{2} N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} d_{\gamma} g_{\gamma} + c N_c s_c i_c d_c g_c + q' N_q s_q i_q d_q g_q$$

Donde

N_i – Factores de capacidad de carga en función del ϕ del suelo.

S_i Factores que toman en cuenta la forma de la cimentación.

d_i - Factores que toman en cuenta la profundidad de empotramiento de la cimentación dentro del estrato resistente.

g_i - Factores que toman en cuenta la inclinación del terreno.

Ahora con este criterio de ejecución de la terraza quedaría

$$q_{br} = \frac{\gamma_2 B'}{2} N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} g_{\gamma} + c N_c s_c i_c g_c + q'$$

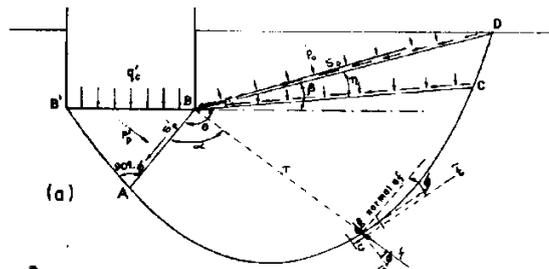


Figura 3: Modelo de falla considerado por Meyerhof. Fuente: Juárez Badillo 2005

Como resultado final se han estado ejecutando cimentaciones como se muestra en la figura 4.



Realizando un análisis comparativo de los costos de construcción y montaje de las cimentaciones aisladas y las corridas para mismo tipo de edificio se obtuvieron los siguientes resultados:
Edificio de 17 apartamentos.
Cimentaciones aisladas \$49381.56, cimentaciones corridas \$15129.25, que representa un ahorro de un 68 %. Esto sin tener en cuenta lo que representa el ahorro de tiempo.
Con estos resultados se ha estado trabajando durante varios años.

Figura 4: Cimentaciones corridas ejecutadas en rellenos compactados. Urbanización en Santa Clara, provincia de Villa Clara Fuente: autores

Esta forma de trabajo ha posibilitado resolver problemas en zonas donde el suelo débil ocupa grandes espesores y no es posible eliminarlo o ejecutar cimentaciones profundas. En estos casos se puede realizar el siguiente análisis. Estamos en presencia de un suelo duro (explanación) sobre uno blando. Cuando el espesor del duro es pequeña la falla se desarrolla de la forma que aparece en la figura 5 y cuando ese espesor es grande la falla se desarrolla de la forma que aparece en la figura 6.

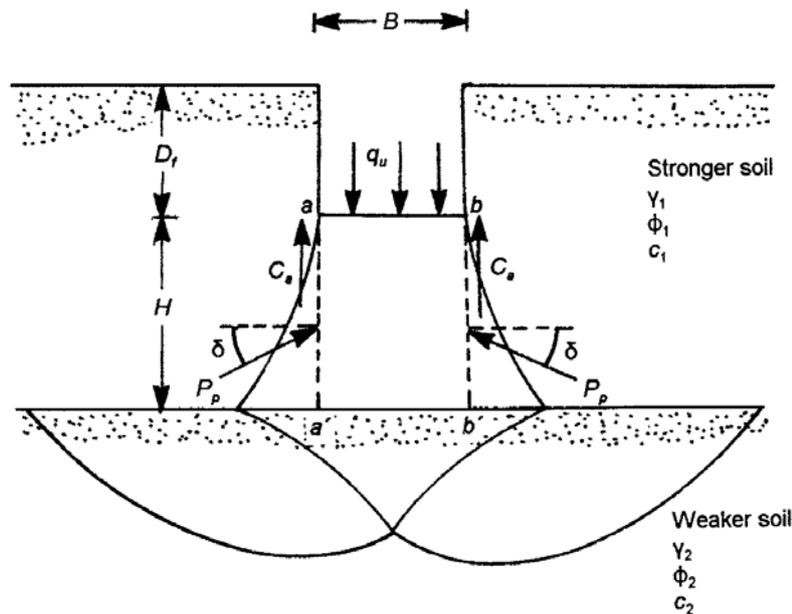


Figura 5: Estrato duro de espesor pequeño sobre uno blando. Fuente Das 1999

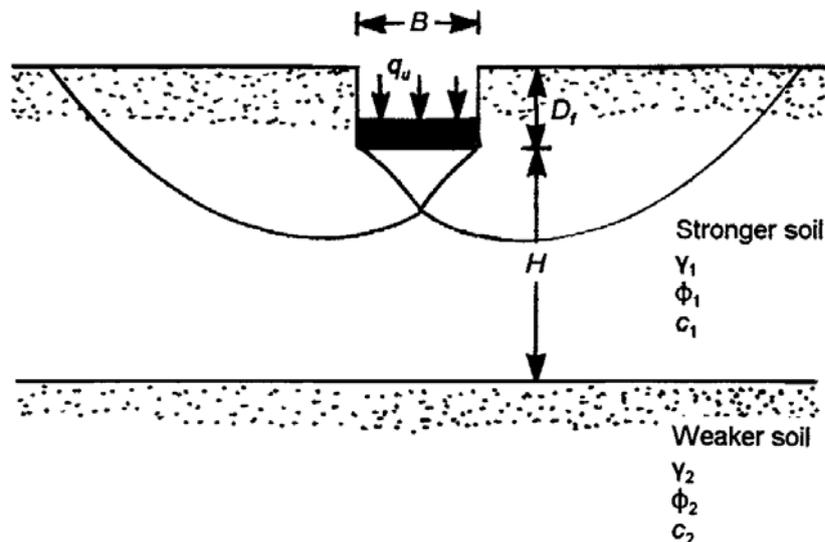


Figura 6: Estrato duro de espesor grande sobre uno blando. Fuente Das 1999

Como puede apreciarse en la figura 6 para un espesor determinado la superficie de falla solo se desarrolla en el suelo duro. El trabajo del proyectista sería buscar un espesor donde garantice unas dimensiones de zapatas adecuadas según la norma de cimentaciones y verificar que la capacidad de carga del primer estrato es menor que la capacidad de carga del segundo estrato, que como puede apreciarse en la figura 5, las tensiones se transmiten a través de un área equivalente de ancho $B+H$. La forma de cálculo aparece en la norma de cimentaciones o en el libro de Das 1999.

Problemática que existe actualmente.

Desde el punto de vista de proyecto, las empresas de investigaciones de suelo suministran datos que se alejan de la realidad.

Realmente los rellenos, una vez terminados de construir, se comportan como suelos parcialmente saturados y la mayoría de ellos mantienen esta condición durante toda la vida, pero en Cuba es necesario buscar soluciones alternativas para proponer características de diseño; pues en los laboratorios no existen equipos adecuados para su estudio.

En un trabajo teórico, Bernal (2012) plantea que cuando se disminuye la saturación aumenta la capacidad de carga de los suelos friccionales, siendo este aumento más significativo con el aumento del ángulo de fricción interna (ϕ); la diferencia está en el orden de 1.95 para $\phi = 40^\circ$, hasta 1.3 para $\phi = 25^\circ$. En los suelos cohesivos la diferencia está en el orden de 1.28.

También se plantea que el valor de capacidad de carga se mantiene prácticamente constante para valores de saturación entre 50 y 90 % y que a partir de este punto es que disminuye grandemente. Es decir, si los datos que se entregan son teniendo en cuenta un comportamiento saturado de los suelos, se estaría del lado de la seguridad, pero con la posibilidad que los resultados de los proyectos sean muy conservadores y que conspiran fuertemente sobre la economía de las obras.

En la actualidad las empresas dedicadas al estudio de los suelos obtienen los valores físicos mecánicas de los rellenos a partir de tablas, que en su totalidad son tomadas de normas extranjeras o de autores extranjeros. Los valores propuestos dependen mucho de la experiencia de los investigadores y de su confianza en los

conocimientos que tienen sobre los suelos estudiados. En un trabajo reciente, Rodríguez (2013), se pudo demostrar que existe mucha variación en los mismos. Se realizó una encuesta solicitando los valores de las características mecánicas a partir de los resultados de los ensayos físicos de dos suelos que se han empleado como rellenos, los cuales se les suministraron a los encuestados:

A. Relleno técnico formado por eluvio de roca serpentinita, grava bien graduada con limo y arena (GW), compacidad muy alta, plasticidad media, color gris verdoso, a profundidades entre 0.00 m a 1.65 m.

Capa	γ_{fnat} (kN/m ³)	γ_{dnat} (kN/m ³)	N _{SPT}	SUCS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W (%)	G _s	Material pasado por los tamices			
										#4	#10	#40	#200
1	21.22	18.04	40	GW	46.1	33.5	12.6	17.7	2.66	28	15	6	3

B. Relleno técnico formado por arcilla de mediana plasticidad con arena, de baja compresibilidad, de consistencia dura, calcárea, con color pardo amarillento, con vetas gris verdosas. Profundidad de 1.10 m hasta 4.0 m. Clasifica según SUCS como CL.

Capa	γ_{fnat} (kN/m ³)	γ_{dnat} (kN/m ³)	N _{SPT}	SUCS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W (%)	G _s	Material pasado por los tamices			
										#4	#10	#40	#200
2	19.40	15.75	31	CL	40	21.2	18.8	23.2	2.72	98	95	88	76

W ópt (%)	γ_f máx (kN/m ³)	γ_d máx. (kN/m ³)	Energía
20.9	19.15	15.84	Estándar

En el mismo trabajo se dan recomendaciones para abordar el estudio de los suelos que se utilizarán como rellenos. Además se deja claro la necesidad de una norma que regule el estudio de los préstamos.

Resultados de la encuesta

	Suelo grueso				Suelo fino			
	C (kPa)	ϕ (Grado)	E (MPa)	μ (adim)	C (kPa)	ϕ (Grado)	E (MPa)	μ (adim)
X mín.	0	31	30	0.2	18	15	15	0.40
X máx.	26	42	500	0.5	40	25	26	0.40
n	10	10	10	10	10	10	10	10
X med.	4.70	37.8	95.9	0.25	25.5	21.80	17.20	0.4
S	8.12	3.79	143	0.10	6.02	3.71	3.46	0
$\sqrt{\quad}$	1.73	0.10	1.49	0.39	0.24	0.17	0.20	0

Otro de los problemas que existe en la actualidad es el retroceso que ha tenido en la ejecución de las terrazas. Benavidez (2013), en estudio realizado en dos lugares donde se están ejecutando terrazas llegó a las siguientes conclusiones:

- a. No existe una adecuada comunicación entre las entidades que intervienen en la ejecución de la obra, inversionista, proyectista, constructor y el controlador externo de la calidad, dando como resultado un deficiente control en la calidad de la compactación.
- b. Las empresas inversionista no exigen la ejecución del terraplén de prueba ni el control sistemático del préstamo, por tanto no cuentan con la documentación necesaria para controlar la compactación.
- c. Las empresas proyectista no definen los parámetros para realizar la compactación lo que trae aparejado que no cuente con requisitos para controlarla. En otros casos los proponen pero no controlan los resultados alcanzados en la compactación de las terrazas donde se ubicarán las cimentaciones proyectadas.
- d. Se realizan proyectos utilizando informes ingeniero geológicos desactualizados.
- e. Las empresas constructoras no realizan el terraplén de prueba; los parámetros de espesor de capa, número de pases del compactador y cantidad de pases a ejecutar con la pipa de agua para lograr la humedad de trabajo son determinadas mediante la experiencia del trabajo en otras obras, procedimiento totalmente inadecuado. No conocen la humedad inicial de cantera, por lo que la cantidad de agua que se le adiciona a la explanada está sujeta a las experiencias de obreros. Ambas entidades no ejecutan la homogenización del suelo luego de humedecido el mismo.
- f. Las empresas constructoras no disponen de personal encargado de controlar la compactación, aspecto vital para lograr buenos resultados en esta actividad.
- g. Las empresas constructoras utilizan estacas para marcar el espesor de capa a colocar, las mismas pierden su verticalidad como consecuencia de los trabajos de los equipos en la terraza y por tanto la altura marcada; no se cuenta con otras técnicas para controlar este parámetro como pudiera ser el empleo de una vitola.
- h. El control topográfico final es realizado por ambas empresas constructoras.
- i. La entidad investigadora (común para ambas obras) no tiene presente los requerimientos exigidos por el proyectista, efectúa el control según los criterios que la misma estima que debe lograrse.

Además, existe un problema en la ejecución de los rellenos sobre el que no hay conciencia de las afectaciones que produce por las partes implicadas, es el uso de partículas grandes en las capas, mayores que las aceptadas en las normativas. Esta situación se presenta con mucha reiteración en las obras y el resultado es una deficiente compactación alrededor de esa zona y fallas futuras del relleno, figura 5.



Figura 5: Resultados de una mala compactación producto de la presencia de partículas más grandes que las permisibles dentro de las capas ejecutadas. Fuente: autores

Hoy se trabaja en la confección de una norma que regule la proyección y construcción de explanaciones. Hasta tanto se puede trabajar con diferentes trabajos existentes en el país, pero ante todo se necesita una buena voluntad para trabajar bien.

Además de las problemáticas anteriormente expuestas, se ha podido apreciar que el diseño estructural de las cimentaciones corridas utilizadas puede ser mejorado. Cortes (2013) ha resuelto esa problemática.

Conclusiones:

Las explanaciones adecuadamente ejecutadas garantizan que se alcancen las características físico mecánicas que se han tenido en cuenta en los proyectos de cimentaciones, que a su vez se pueden realizar en función de lograr las que sean más seguras y económicas tal y como se ha logrado en EMPI Villa Clara.

Se ha podido constatar que hoy día los procesos de compactación han tenido un retroceso, pues se ejecutan sin una adecuada coordinación entre las partes involucradas y las normas establecidas no se cumplen adecuadamente, por lo que se hace necesario que a nivel de país se comience un proceso de evaluación de la problemática donde se le den solución en estas cuestiones.

Un punto de partida importante en la conformación de explanaciones es que las mismas se ejecuten respetando los criterios técnicos adecuados para su ejecución y se eliminen todas las violaciones que hoy se cometen por todas las partes implicadas.

Bibliografía:

1. Benavides Meneses, A. (2013): Control de calidad en la ejecución de explanaciones. Trabajo de diploma. Tutor: Dr Ing. Rolando Lima Rodríguez.
2. Bernal Cordero, A. 2013. "Análisis Teórico de la Capacidad de Carga de suelos parcialmente Saturado" Trabajo de diploma. Tutor: Dr. Cs. Ing. Gilberto Quevedo Sotolongo.
3. Buenfil Berzunza, C. M. 2007. "Caracterización experimental del comportamiento hidromecánico de una arcilla compactada." Tesis doctoral. Directores de tesis: Antonio Lloret Morancho y Antonio Gens Solé. Universidad Politécnica de Cataluña <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/.pdf?sequence=5>
4. Cortés, L. (2013): Modelación, Análisis y Diseño de Cimentaciones del Sistema Gran Panel IV. Trabajo de diploma. Tutor: Dr. Ing. Ernesto Chagoyén Méndez.
5. CSN 731001. 1973. "Norma Checa de cimentaciones superficiales". 37 p.
6. Das, B. (1999): Shallow foundations: bearing capacity and settlement. CRC Press, USA
7. Das, B. (2006.) Principles of Geotechnical Engineering. Quinta edición, Editorial Thomson, EUA.
8. Duque, G. y Escobar, C. (2002): Mecánica de los suelos. Universidad Nacional de Colombia / Sede Manizales.
9. Gómez del Valle, Y. 2007. "Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos" Trabajo de diploma. Tutores: Msc. Ing. Rolando Lima Rodríguez y Dr. Ing. Domingo E. Delgado Martínez.
10. Juárez, E. y A. Rico (2005): Mecánica de suelo: Fundamentos de la mecánica de suelos. Volumen 1, Editorial Limusa, México.
11. Oliva, C., (2010): Estabilización de un suelo de la Formación Toledo con cemento Portland y Sistema ROCAMIX Líquido. Tesis de ingeniería, ISPJAE, La Habana, Cuba.
12. Orta Amaro, P. (2013): Tecnología de Construcción de Explanaciones; Editorial Félix Varela, Habana, Cuba.

Rolando Lima Rodríguez, MsC Ing. Yipsy Morales Torres, Ing. Guedel Arcial Ruiz, Ing. Amizaday Benavides Meneses, Ing. Junior Rodríguez Álvarez. Construcción de explanaciones en Cuba. Logros y deficiencias.

13. Ribeiro, D., (2012) Execução dos Serviços de Terraplenagem. Disertación en UFBA - Escola Politécnica - Departamento de Transportes, Brazil.
14. Rico, A. y Del Castillo, H., (1986): La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen 2, Editorial Limusa, México.
15. Rodríguez Álvarez, J. (2013): Caracterización de Rellenos Técnicos. Trabajo de diploma. Tutor: Dr. Ing. Rolando Lima Rodríguez.
16. Sánchez, A., (2008). Evaluación del método Hilf para el control de compactación de mezclas con suelos volcánicos del aeropuerto del café, en palestina, caldas. Tesis de Maestría. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
17. Torres, J., (1986). Diseño y construcción de explanaciones. Volumen II, ENPES, Habana, Cuba.